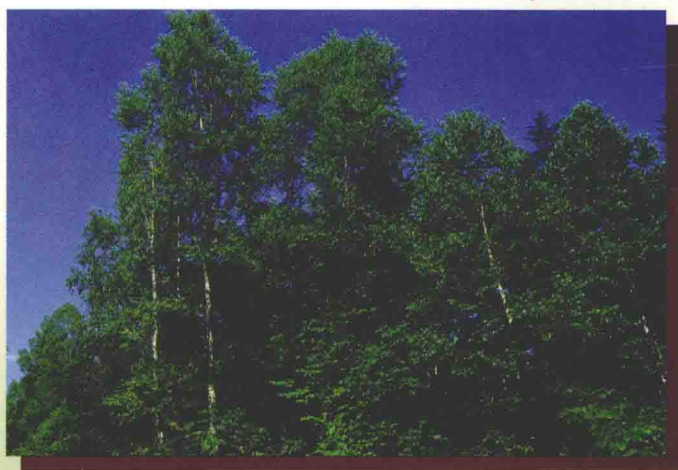


东北林业大学出版社 基金资助出版

林火与环境

L I N H U O Y U H U A N J I N G

胡海清 编著



东北林业大学出版社

林 火 与 环 境

胡海清 编 著

东北林业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

林火与环境/胡海清编著. —哈尔滨:东北林业大学出版社, 2000. 10

ISBN 7-81076-125-0

I. 林... II. 胡... III. 森林火-关系-环境-研究 IV. S762

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 56180 号

责任编辑:郭 郢 卜彩虹

封面设计:曹 晖



NEFUP

林火与环境

Linhuo Yu Huanjing

胡海清 编著

东北林业大学出版社出版发行

(哈尔滨市和兴路 26 号)

东北林业大学印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 11.25 字数 259 千字

2000 年 10 月第 1 版 2000 年 10 月第 1 次印刷

印数 1—1 000 册

ISBN 7-81076-125-0

S·274 定价:15.80 元

内 容 提 要

本书论述了火是重要的生态因子；扼要地介绍了林火基础知识；系统地介绍了火对土壤、大气、水分等环境的影响；详尽地阐述了火对植物与植物群落的影响及植物与植物群落对火的适应；并阐述了火对野生动物的影响；论述了火对生态系统的影响与作用；阐述了用火原理、技术与方法及火应用的诸领域；评述了绿色防火的机理与技术措施及其与保护和改善环境的关系。

本书可作为林学、环境学、生态学等专业的本科生和研究生的教学参考书，亦可供从事森林防火、环境保护、森林经营与管理等专业的技术人员和管理者阅读和参考。

前 言

火是一种自然现象。自从地球上有了森林，火就对其产生影响和作用。森林的发生、演替乃至消亡常常与火有着密切关系。火是森林生态系统的一部分。地球上出现人类以来，火又与人类结下了不解之缘。因此，森林的发生与演替及人类的生存与发展都与火密切相关。

火对森林与环境的诸多影响与作用具有两重性，有时是明显的，有时是隐藏的；有时是短暂的，有时是长期的；有时是有益的，有时是有害的。因此，只有在理论和实践上对火有明确的认识，了解和掌握火的作用规律，才能充分利用火有益的一面，控制其有害的一面，使火成为人类进行生产生活的有益工具和手段，更好地为人类服务。

林火与环境是生态学发展中的一个新支，它是一门边缘科学。它与生态学密切相关，并与数学、物理、化学和生物学及电子计算机、遥感技术、气象等学科相互交融。防火工程、林业、农业、野生动物以及环境学科等都与火密切相关。此外，系统科学、控制论、运筹学以及突变论、耗散结构和协同学等理论学科对火科学的发展也有指导作用。

阿基(1992)将火生态学研究历史分为三个阶段：1900~1960年，认为火是“坏”的，研究得较少而且分散；1960~1985年，对火的认识态度发生转变，认识到了火的两重性，研究成果报告大量增加，更好地分析了火在自然环境中的作用；1985年以后，火生态学成为干扰生态学的组成部分，成熟的火生态学理论和研究成果为干扰生态学的发展提供了坚实的基础和背景。

我国对林火进行研究始于20世纪50年代中期。对火生态的研究在我国近些年才开始。在参考许多国外资料的基础上，郑焕能、胡海清等于1992年编写出版了《林火生态》一书，为我国林火与环境的研究奠定了基础。20世纪90年代以来，我国林火研究者在火对环境影响方面做了一些研究，并取得了一些可喜的成果。

林火与环境主要研究内容包括林火基础知识，火对土壤、水分、大气、植物及植物群落、野生动物及生态系统的影响与作用；火的应用的原理与技术及绿色防火机理与技术措施等。

本书部分研究内容得到了国家自然科学基金和黑龙江省自然科学基金的资助。在此表示衷心感谢！

编著者

1999年12月

目 录

0 绪论	(1)
0.1 火的由来与发展	(1)
0.2 火是重要的生态因子	(4)
0.3 林火与环境研究发展简史	(5)
0.4 林火与环境的研究内容	(6)
0.5 林火与环境与其他学科的关系	(7)
1 林火基础知识	(8)
1.1 森林燃烧	(8)
1.2 林火行为	(12)
1.3 森林可燃物	(15)
1.4 林火气象	(26)
1.5 地形与林火	(37)
1.6 林火时间地理分布	(42)
1.7 火历史	(45)
2 火对土壤环境的影响	(48)
2.1 火对土壤物理性质的影响	(48)
2.2 火对土壤化学性质的影响	(51)
2.3 火对土壤微生物的影响	(53)
2.4 火在改善土壤环境中的作用	(54)
3 火对水分环境的影响	(56)
3.1 火烧对水分循环过程的影响	(56)
3.2 火烧对河流淤积和河水流量的影响	(59)
3.3 火烧对下游河流水质的影响	(60)
3.4 火烧对水生生物的影响	(61)
4 火对大气环境的影响	(62)
4.1 森林燃烧所产生的各种气体	(62)
4.2 烟雾的形成	(65)
4.3 烟雾的产量	(65)
4.4 烟雾的影响	(66)
4.5 烟雾的管理	(68)
5 火对植物及植物群落的影响	(70)
5.1 火对植物的影响及植物对火的适应	(70)
5.2 火对植物生理状态的影响	(77)
5.3 火烧迹地上植物的变化	(80)
5.4 树种的生态对策及对火的适应	(81)

5.5 火对植物群落演替的影响	(84)
6 火对野生动物的影响	(87)
6.1 火对野生动物的直接影响	(87)
6.2 火对野生动物的间接影响	(87)
6.3 火烧后各种动物的变化	(89)
6.4 野生动物对火的反应	(96)
6.5 野生动物对火行为的影响	(97)
6.6 火与野生动物保护	(98)
7 火对生态系统的影响	(100)
7.1 火在生态系统平衡中的作用	(100)
7.2 火对生态系统物流、能流和信息流的影响	(104)
7.3 火对生态系统中生产力和生物量的影响	(106)
7.4 不同生态系统中火的影响与作用	(107)
7.5 我国不同生态系统中火的影响与作用	(115)
8 火的应用	(133)
8.1 可燃物环境	(133)
8.2 天气条件	(135)
8.3 点燃	(136)
8.4 地形	(137)
8.5 防火线	(138)
8.6 点火方法	(138)
8.7 低挥发性可燃物的计划火烧	(139)
8.8 中挥发性可燃物的计划火烧	(142)
8.9 高挥发性可燃物的计划火烧	(143)
8.10 计划火烧的规划设计	(143)
8.11 火应用的诸方面	(144)
8.12 黑色防火	(146)
8.13 用火评价	(148)
9 绿色防火与环境保护	(151)
9.1 绿色防火概述	(151)
9.2 绿色防火机理	(153)
9.3 防火树种的选择	(155)
9.4 绿色防火的主要技术措施	(157)
9.5 防火林带的营造技术	(159)
9.6 绿色防火存在的问题及亟待解决的问题	(163)
参考文献	(165)

0 绪 论

自从地球上有了森林,火就对其产生影响和作用。森林的发生、演替乃至消亡常常与火有着密切的关系。地球上的任何森林无不受到火的影响,火是森林生态系统的一部分。自从地球上出现人类以来,火就与人类结下了不解之缘。火的发现与应用极大地推动了人类的文明与进步。因此,森林的发生与演替及人类的生存与发展都与火密切相关。火对森林与环境的诸多影响,有时是明显的,有时是隐蔽的;有时是短暂的,有时是长期的;有时是有益的,有时是有害的,即火的作用具有两重性。因此,只有在理论和实践上对火有明确的认识,了解和掌握火的作用规律,才能充分利用火有益的一面,控制其有害的一面,使火成为人类进行生产生活的有益工具和手段,更好地为人类服务。

0.1 火的由来与发展

0.1.1 火的由来

火是一种自然现象,是可燃物与氧等助燃物质发生剧烈氧化反应,并伴有放热发光的燃烧现象。据天文学家研究,在距今大约 46 亿年以前,地球刚刚产生时其本身就是一个“火球”,温度很高,围绕太阳旋转。随着天体的不断演化,地球温度逐渐降低。此时,地球上就产生了两种自然火现象,一是地壳内部喷出的岩浆(火山爆发),一是地球以外的陨石撞击。在距今大约 30 亿年以前,地球上产生了水和空气,这时自然界便出现了雷电现象。在距今 2.7 亿~1.3 亿年前,地球上才出现了森林,自然界多了一种燃烧现象——林火。自从有了森林,火作为一个活跃的生态因子,时刻影响着森林生态系统的发生、演替与消亡。在距今 300 万~200 万年前,地球上出现了人类,自然界又多了一种火源——人为火。火在影响森林发生与演替的同时,也与人类的生存息息相关。人类通过获取和保留自然火种,给寒冬带来温暖,给黑夜带来光明,使生食变成熟食,从蛮荒走向文明。森林是人类的发源地,她孕育了人类,是人类的摇篮。在距今几百万年前,人类发明了钻木取火,真正的人为火便出现了。

0.1.2 人类对火认识的发展

(1) 原始用火阶段。自从人类出现在地球上以来,火便与人类结下了不解之缘。无数次森林火灾之后,人类积累了关于火的经验。人们发现火不仅可以烧毁森林,烧死野生动物,甚至人类本身;火烧以后留下的“熟食”味道更美,火还可以取暖等。因此,人们开始尝试用火。据考证,最早开始使用火的是我国古代的元谋人和西侯度人,距今有 180 万~170 万年的历史,在其居住的洞穴中发现了木炭和灰烬等用火痕迹。在陕西

的兰田人（距今约 80 万年）和周口店的北京人（距今 50 万~40 万年）的遗址中也发现类似的用火痕迹。人类学会用火是其走向文明的一个重要标志。火的使用，对人类的发展和社会的进步产生了深远影响。由于食用经过烧烤的兽肉等食物，使人类摆脱了“茹毛饮血”的野蛮时代，促进了自己的智力与体质的发展。用火不仅能够防御野兽的侵袭，保护自己，而且还可以狩猎，获取食物；同时，用火还可以在洞穴中取暖御寒。所有这些用火实践都大大增强了人类的生存能力。当学会钻木取火（摩擦生火）以后，人类不仅用火更加广泛，而且用火技能不断提高。原始农业的刀耕火种、制陶、冶铜、煮盐、酿酒等手工业的出现和发展，都是人类用火的佐证。这些都极大地促进了社会生产力的发展，使人类在文明的道路上不断前进。可以说没有火的发现与利用，就没有今天人类社会的发展，也就没有现代的物质文明与精神文明。原始用火阶段同原始社会一样漫长。

(2) 森林防火阶段。随着人类社会的不断发展，特别是资本主义的兴起，工业化不断发展，人类对森林的利用迅速增加，地球上的森林日益减少。与此同时，随着人口数量的剧增，人类对粮食的需求越来越大，人们便大量毁林开荒，开垦农田，以生产赖以生存的粮食。另外，由于自然或人为因素引起的森林火灾不断发生，使得森林面积越来越少。据有关资料记载，在 1 万年以前，地球上的森林面积约为 62 亿 hm^2 ，占全球陆地面积的 40%；1960 年，减少到 40 亿 hm^2 ；1988 年减少到 28 亿 hm^2 。据联合国粮农组织预测，到 2000 年，全球森林面积将减少到 20 亿 hm^2 ，同时全球森林覆盖率将下降到 15%。目前，全球森林在以每天近 3.5 万 hm^2 的速度递减。森林的减少使人们认识到森林并非是“取之不尽，用之不竭”的资源。这时人类开始有意识地预防和控制森林火灾。在 18~20 世纪初，欧美和亚洲一些国家先后进入了“森林防火”时期。

事实上，我国古代就有很强的“防火意识”。春秋战国时期的齐国政治家管仲在其《管子》中讲：“山泽不救于火，草木不殖成，国之贫也；山泽救于火，草木殖成，国之富也。”三国西晋时期，潘岳曾赋诗称：“微火不戒，延我宝库。”但是，在当时的历史条件下，由于生产力发展水平低，文化和科技不发达，人们还缺乏控制火灾的知识和有效工具，森林火灾时常危及国计民生，影响国泰民安，甚至动摇统治王朝。因此，各朝代乞求长治久安的帝王和官吏无不重视施行火政，即设火官（兵）、立火禁、修火宪。设火官（兵），即设置掌管火政的官吏和专司救火的工兵。我国早在周朝就开始设置“司灌”、“司恒”和“宫正”三职火官，分别掌管乡间、城内和宫廷火禁之事宜。立火禁，即发布防火政令和建立御火制度。为了防止火患，各朝代都有不同内容的火禁令。周朝有“二月，毋焚山林”的用火禁令；宋代有“诸路州县畲田（用火焚烧田里草木）并如乡土旧（按照地方规定）例外，自余焚烧野草，并须十月后方得纵火。其行路夜宿人，所在栓校（用火后查是否熄灭），无使延燔（蔓延成灾）”的防火政令。修火宪，即制定法律，依法治火，以惩罪误。我国自夏代起就出现了法律这一阶级专政工具，到了商朝开始用刑罚手段管理火政。例如，“殷王法”中就有“弃灰于公道者断其手”的条款。周朝规定：“凡国失火，野焚（烧荒），则有刑罚焉。”在 1975 年 12 月湖北出土的一批秦简中，《田律》即规定有“不夏月，毋敢夜草为灰”的火宪内容。在《唐律疏议》中有这样的规定：“诸于山陵兆域内失火者，徒二年；延烧林木者，流二千里。”还规

定：“诸见火起，应告不告，应救不救，减失火罪二等。”可见，我国古代人还是很重视防火的。

总之，在这一时期，人们认识到了火的危害性和防火的重要性。因此，人类对森林火灾便千方百计地加以控制。

(3) 林火管理阶段。随着人们对火认识的不断深入，开始认识到林火具有两重性，即有害的森林火灾和有益的计划烧除。通常人们谈及林火多指其有害一面，如森林火灾能烧毁森林、牧场，危害野生动物，甚至威胁人类生命和财产安全。然而，适当的用火不仅不破坏森林，而且还会给森林带来好处，使火害变为火利。例如，用火可以清除地被物和采伐剩余物，一方面改善了林地的卫生条件，对恢复森林及促进森林更新和生长大有益处；另一方面，火烧减少了林地可燃物积累，降低了火险等级，可避免有害的森林火灾的发生。此外，人们还经常采用火烧的办法来改良牧场，改善野生动物的栖息环境，火烧防火线等。

在国外，这一阶段大约始于 20 世纪 50 年代，可用美国凯恩斯·戴维斯 (1959) 所著的《林火控制与利用》一书作为标志。该书对如何控制有害的森林火灾，以及如何将火作为经营森林的工具和手段等，做了较为详尽、系统的阐述。

关于火的利用，我国古代亦有许多用火的经验，且在很多文献上有记载。徐光启在《农政全书》中讲：“江东、江南之地，惟桐树、黄栗之利易得。乃将旁边山场尽行锄转，种获，收毕，乃以火焚之，使地熟而沃。”梁廷栋在《种岩桂法》一书中讲到：“既定种桂之山场，七、八、九月伐木烧草，将山地锄治。其锄宜深，以八九寸一尺为度。此时将地逐一锄翻，则草木强，经霜必枯（若春夏锄治，草木皆争发）；至十一、十二月，再将所锄之土块，掀翻锄碎，以待来春，种桂为佳。”《南岳志》一书中讲到：“衡山有山笋，笋动者，竹经野烧，当春怒发。”另外，《齐民要术》、《汜胜之书》、《三农经》等书籍在谈到种榆、楮、桑、栎等时均讲到采用火烧的办法来促进其更新和生长。不仅如此，在引种驯化上前人也曾有过用火经验。《种树书》一书中曾讲到：“木自南北多枯。寒而不枯，只于腊月去根旁土，麦糠厚覆之，烧火深培如故，则不过一、二年皆结实，若岁用此法，则南北不殊，犹人炷艾耳。”

然而，古代有意识的用火，与现代意义上的用火有所不同。那时的用火多为凭经验在小范围内用火，或利用不加控制的火烧来达到某种用火目的。现代用火是建立在一定的科学理论基础上的，能对火环境进行预测和调控，并能预测火的行为及后果的有计划用火。因此，现代用火在国外始于 20 世纪 50 年代，而我国要晚些，大约从 20 世纪 70 年代开始。目前，世界上大多数国家仍处于此阶段。这一阶段的主要特点是：在控制有害的森林火灾的同时，还将火作为经营森林的工具和手段加以利用，变火害为火利。

(4) 现代化林火管理阶段。随着现代科学技术的不断发展，各种高新技术不断应用于森林防火和用火的各个领域。目前，卫星林火监测、红外探火、遥感技术、航空巡护、雷达探测、GIS、GPS 等现代技术在森林防火领域中得到了广泛应用。特别是电子计算机技术的飞速发展，加速了林火管理的现代化。森林防火专家系统、人工智能系统、林火预测预报系统、林火管理计算机辅助决策系统等均与计算机的发展密切相关。因此，这一阶段的特点是：虽然在内容上与第三阶段相同，即“防火”和“用火”，但

是,在手段上却有质的飞跃。这一时期森林火灾基本能得到控制,用火广泛,且有成熟的安全用火技术。目前,世界上只有少数一些国家基本上进入了这一阶段。例如,北欧的芬兰、瑞典,西欧的德国、瑞士等一些发达国家森林火灾非常少,由于其防火手段先进,森林火灾基本得到控制。而像美国、加拿大、澳大利亚、俄罗斯等一些国家,虽然具有先进的防火、灭火手段,但是,由于地广林多,加之受气候的影响,森林火灾仍很严重。因此,这些国家要达到现代化林火管理阶段仍需要加强防火、灭火手段和力量。我国虽然也有一些先进技术应用用于森林防火、灭火,但是,总的来讲手段仍很落后,尚不具备基本控制森林火灾的能力,要达到现代化林火管理阶段尚需一定时间。因此,应加强森林防火、灭火、用火的理论研究,增加科学技术含量,提高现代技术的应用和林火管理水平,使我国的森林防火早日步入现代化管理阶段。

0.2 火是重要的生态因子

火长期作用于森林生态系统,不断影响其发生与演替。火的作用改变了生态环境,使有些物种由于火的干扰而灭绝或处于濒危,而有些物种又因火的作用得以生存和发展。

0.2.1 火是生态因子

(1) 火是一个重要的自然因素。早在森林产生之前,在自然界中就有火(自然火)的存在。自从地球上出现了森林,火就对其产生作用,并不断地影响其发生和演变。长期以来,人类一直将火视为生态系统以外的“外来因素”、“破坏因素”、“干扰因素”,没有认识到火是生态系统不可分割的一部分。直到20世纪50年代,美国植物生态学家道本迈尔在他的《植物与环境》一书中才把火作为一个生态因子。到20世纪70年代,美国森林生态学家斯波尔在他的《森林生态学》一书中也把火作为一个生态因子来论述。目前,由于人类对火认识的不断深入,火作为一个生态因子已成为共识。

(2) 火能引起其他生态因子的重新分配。森林火灾的发生,使森林生态系统在短时间内突然释放出大量能量,不仅使某些生物大量死亡,而且还能引起林内光照、温度、水分、土壤等生态因子的改变,从而使原来森林的物种组成、结构、功能发生改变。例如,火烧迹地上留有黑色木炭和灰分,大量吸收太阳长波辐射,使林地温度大幅增加;在火烧迹地上阳光充足,风大,温差大,接近裸地的小气候,有利于一些阳性植物生长发育,对于一些耐阴植物则有抑制作用。

(3) 火的作用具有两重性。火同其他生态因子一样,对生物及生态系统的作用具有两重性。例如,温度和水分是生物生存必不可少的因子。然而,持续高温而引发的长期干旱或连续降水而引发的洪涝也会使其死亡,使生态系统遭到严重破坏。火作为一个活跃的因子经常作用于森林生态系统中。有时火能使森林生态系统的结构和功能遭到破坏,成为不利于平衡的干扰因素;有时不但不破坏森林的结构和功能,而且能够维持森林群落的自我更新,成为有利于平衡的稳定因素。火对森林生态系统究竟是有利还是有害,主要因火所作用的生态系统、时间及火强度等的不同而具有本质的区别。例如,高强度大火,会使大面积森林遭到毁灭;相反,低强度的小火,不仅对森林存亡没有影

响,而且有利于改善林内卫生条件,增加土壤养分,促进森林更新及林木生长发育。因此,不同性质的火对森林生态系统有着不同的影响。

(4)火能维护某些物种的生存。火以高温杀死、烧伤生物体,使某些生物致死。但是,也有些生物种依赖火得以生存和发展,这些生物被称为火生态种或火依赖种。分布于北美的北美短叶松,具有球果迟开的特性,其球果成熟后,果鳞不开裂,种子不能散落。但是,种子在球果内可以长期保持生命力,只有经过火烧后,果鳞才能开裂,种子才能散落林地而更新。没有火的作用,北美短叶松就不能完成更新。

0.2.2 火是特殊的生态因子

(1)火的发生需要一定的条件。在自然界中,光、温、水、土、气等生态因子时刻伴随着生物及生态系统,而火的发生需要一定的条件。在地球上,不是任何地点都可以发生森林火灾的。例如,热带雨林由于常年处在高温高湿条件下,一般不容易发生森林火灾;极地、冻原、荒漠没有森林,也不发生火灾。另外,火的发生有一定的时间性。一般在干旱季节,树木与植物处在休眠状态下容易发生火灾。我国南方各省(区)森林火灾多发生在冬季或旱季;东北地区则发生在春秋两季;新疆主要发生在夏季。

(2)火不是生活因子。植物只是在种子萌发期不需要光照,而后的整个生长期,光是必需的;温度是热量的体现,来源于光照,也是植物生存所必需的;水是一切植物赖以生存的基础,“生命起源于水,生存于水”。然而,火除了能直接烧死、烧伤植物外,只能通过影响植物的生存环境起间接作用。因此,火不是植物赖以生存的生活因子,而有别于光、温、水、二氧化碳等生态因子。

(3)火因子具有不连续性。生态因子的作用大都是连续的和稳定的。例如,光照中的直射光虽然有间断,但具有一定的昼夜规律,且散射光和漫射光是连续存在的。其他生态因子,如温度、水分、土壤等,都有类似的连续性和稳定性。然而,火的发生具有一定的偶然性,其作用也是不连续的。

(4)火是一个烈性因子。火因子的烈性主要表现在森林火灾对植物及生态系统的危害上。光、温、水、土、气等生态因子对植物及生态系统的作用比较“温和”,偶尔有“灾害性作用”,但不经常。而森林火灾一旦发生,便作用强烈,且常为“灾害性作用”。因此,自然状态下的火多是害多利少。

(5)火与人类活动有关。光、温、水、土、气等生态因子的作用是受自然力支配的,而火除了受自然因素影响外,还与人类活动密切相关。绝大多数森林火灾是由人为因素引起的。人类生存离不开森林,人类的生产生活等活动又将火带入森林之中。因此,形成了森林—人—火—森林的相互关系。

0.3 林火与环境研究发展简史

生态学这一名词从1886年产生至今已有120多年的历史。但是,直到20世纪50年代火才开始被作为一个生态因子。最早见于道本迈尔的《植物与环境》一书。20世纪70年代斯波尔所著的《森林生态学》一书也把火作为一个重要的生态因子。从20世

纪 70 年代开始, 林火与环境的研究得到了迅速发展。1970 年, 在美国召开了森林火生态会议, 并出版了论文集。1974 年, 美国出版了论文集《火与生态系统》一书, 这本书的研究内容涉及到火对土壤、鸟类及温带森林生态系统的影响和火的应用等方面。1978 年, 美国农业部林务局组织一些科学家编写了火的影响系列丛书, 涉及 6 个方面: 火对土壤、水分、空气、植物区系、动物区系及可燃物等的影响和作用。这些专著精辟地论述了火的有害、有利两个方面的影响和作用, 为计划火烧提供了理论依据。1982 年, 美国得克萨斯州立大学的怀特和加拿大阿尔伯塔大学的柏雷两位教授合著了《火生态学》一书。该书共分 16 章, 前 4 章主要介绍了火对植物、动物、土壤及水分等的影响, 第五章至第十五章叙述了加拿大南部地区和美国不同森林植被中火的作用和影响, 最后一章主要介绍了计划火烧的方法和技术。1983 年, 由美国的忱德勒、澳大利亚的柴内、英国的托马、法国的特拉鲍德和加拿大的威廉姆斯五国林火专家合著的《林火》一书的内容涉及很多火生态的研究领域, 并将火生态作为林火管理的理论基础。该书分上、下两册, 上册主要论述火的影响和作用; 下册主要介绍林火的组织和管理。1992 年阿基将火生态学研究历史分为 3 个阶段: 1900~1960 年, 认为火是“坏”的, 研究得较少而且分散; 1960~1985 年, 对火的认识态度发生转变, 认识到了火的两重性, 研究成果报告大量增加, 更好地分析了火在自然环境中的作用; 1985 年以后, 火生态学成为干扰生态学的组成部分, 成熟的火生态学理论和研究成果为干扰生态学的发展提供了坚实的基础和背景。

我国对林火进行研究始于 20 世纪 50 年代中期。其中, 科学出版社 1957 年出版的《护林防火研究报告汇编》, 在当时是我国森林防火科学技术方面仅有的参考资料。这本书(论文集)是由原中国科学院沈阳林业土壤研究所(现为中国科学院应用生态研究所)编写的。1962 年由郑焕能等编写的《森林防火学》是我国森林防火方面的第一本教学参考书。然而, 火生态的研究在我国起步较晚, 近些年才开始。在参考许多国外资料的基础上, 郑焕能等于 1992 年编写出版了《林火生态》一书, 为我国林火与环境研究奠定了基础。20 世纪 90 年代以来, 我国林火研究者在火对环境影响方面做了一些研究, 并取得了成果。

0.4 林火与环境的研究内容

林火与环境的研究内容主要包括:

(1) 林火基础知识。主要阐述森林燃烧机制及森林燃烧现象的理论; 林火行为及其特点; 森林可燃物的理化特性、分布格局及与燃烧性的关系; 林火气象、地形等火环境因子对森林火险及火行为的影响。

(2) 火对土壤环境的影响。主要阐述火烧对土壤理化性质、土壤养分、土壤微生物、土壤肥力的影响及火烧在改善土壤环境中的作用。

(3) 火对水分环境的影响。主要阐述火烧后森林对水分截流、渗透、蓄水作用的变化, 火烧区地表径流对河流水质及水生生物的影响。

(4) 火对大气环境的影响。主要阐述森林燃烧所产生的各种物质对空气质量及温室

效应等大气环境的影响, 烟雾的影响与管理。

(5) 火烧对植物及植物群落的影响。主要研究植物的燃烧性, 火对植物的影响及植物对火的适应, 火烧迹地上植物的变化, 火对植物种群演替的影响及对植物个体、种群、群落的作用。

(6) 火对野生动物的影响。主要研究火对野生动物的影响, 火烧后各种动物的变化, 野生动物对火的反应, 野生动物对火行为的影响, 火与野生动物保护。

(7) 火与生态系统。主要研究火在生态平衡中的作用, 火对生态系统物质流、能量流和信息流的影响, 火对生态系统中的生产力和生物量的影响, 不同生态系统中火的影响与作用。

(8) 火的应用。主要研究用火原理与技术, 用火条件及火应用的领域。

(9) 绿色防火。主要研究绿色防火机理、防火树种选择、防火林带营造技术。

0.5 林火与环境与其他学科的关系

林火与环境是生态学发展的一个新的分支, 是一门边缘学科。它与生态学(包括植物生态、种群生态、群落生态、系统生态、生态系统、污染生态等)密切相关, 并与数学、物理、化学和生物学及电子计算机、遥感技术、气象等学科相互交融。此外, 防火工程、林业、农业、野生动物以及环境学科等都与火密切相关。而且, 系统科学、控制论、运筹学以及突变论、耗散结构和协同学等理论学科对火科学的发展也有指导作用。

1 林火基础知识

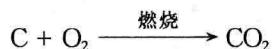
林火基础知识主要阐述森林燃烧机制及森林燃烧现象的理论, 林火行为及其特点, 森林可燃物的理化特性、分布格局及与燃烧性的关系, 林火气象、地形等火环境因子对森林火险及火行为的影响。林火基础知识是研究林火与环境的基础。

1.1 森林燃烧

1.1.1 燃烧与森林燃烧的概念

人类有 170 多万年用火的历史。然而, 人类真正认识火的本质, 科学地解释这一燃烧现象是从氧的发现开始的, 至今只有 200 多年的历史。1777 年, 法国化学家拉瓦锡在大量科学实验的基础上, 推翻了当时流行已久的燃素学说, 提出了关于火的氧化理论, 科学地解释了火是可燃物与空气(氧)进行剧烈化合而发生的放热发光的现象。后来, 人们又发现可燃物不仅能在空气(氧)中燃烧, 还能在氟、氯等介质中燃烧, 金属钠、镁等还能在水中燃烧。于是, 人们又给火这一燃烧现象下了一个定义: 火是一种放热发光的化学反应。

在燃烧过程中, 可燃物与氧或氧化剂化合, 生成了与原来物质完全不同的新物质。例如:



通常, 人们根据火的三个特征, 即化学反应、放出热量和发出光亮, 将火这一燃烧现象与其他现象区别开来。例如, 电灯在照明时既发光又放热, 但不是燃烧现象而是物理过程, 因为没有化学反应; 乙醇与氧作用生成乙酸, 是放热的化学反应, 但其反应不激烈, 放出的热量不足以使产物发光, 也不是燃烧现象。

近代关于燃烧的理论认为, 可燃物的多数氧化反应不是直接进行的, 而是经过一系列复杂的中间阶段, 而且在氧化时不是氧化整个分子, 而是氧化连锁反应的中间产物——游离基, 即自由原子或原子团。游离基的连锁反应是燃烧过程中化学反应的实质, 发光放热则说明火产生过程的物理现象。由此可见, 火是一种复杂的物理化学现象。

森林可燃物在一定外界温度作用下, 快速与空气中的氧结合, 产生的放热发光的化学物理反应称为森林燃烧。

森林燃烧根据其燃烧时有无明火出现可分为有焰燃烧和无焰燃烧两种类型。

有焰燃烧: 森林可燃物点燃后能挥发出足够的可燃性气体, 燃烧时能产生明火, 这种燃烧称为有焰燃烧, 亦称为明火。能够产生有焰燃烧的可燃物称为有焰燃烧可燃物, 如森林中干枯的杂草、枯枝落叶、采伐剩余物、木材等可燃物均为有焰燃烧可燃物。这类

可燃物通常占森林可燃物总量的 85%~90%。

无焰燃烧：森林可燃物点燃后不能挥发出足够的可燃性气体，燃烧时没有明火出现，这种燃烧称为无焰燃烧，亦称为暗火。产生无焰燃烧的可燃物称无焰燃烧可燃物，如森林中的泥炭、腐殖质、腐朽木等为无焰燃烧可燃物。这类可燃物通常分布较少，仅占森林可燃物总量的 5%~10%。

1.1.2 森林燃烧三要素

任何燃烧现象的发生必须具备三个要素，即可燃物、助燃物和一定温度。三者互相依赖，互相作用，构成了燃烧三角（图 1-1）。如果缺少三角形的任何一边，燃烧现象就会停止。

1.1.2.1 可燃物

凡是能与氧或氧化剂起燃烧反应的物质均称为可燃物。无论气体、液体还是固体均有可燃物，如氢气、乙炔、酒精、汽油、木材、煤炭、钾、钠、硫、磷等均均为可燃物。

森林可燃物指森林中所有能够燃烧的物质，通常多指森林植物及其死亡机体。例如，森林中的乔木、灌木、草本、苔藓、地衣、枯枝落叶、腐殖质、泥炭等均均为森林可燃物。关于森林可燃物的特性与分类将在 1.3 中详细阐述。

1.1.2.2 助燃物

凡与可燃物结合能帮助和导致着火的物质均为助燃物。通常指氧气、氯气、氯酸钾、高锰酸钾、过氧化钠等。

森林可燃物燃烧的助燃物是氧气。空气中含有约 1/5（21%）体积的氧，空气中氧的这一浓度能使一般可燃物遇火源就能够着火。但是，当空气中氧缺乏时，燃烧就会减弱，甚至熄灭。表 1-1 中列举了几种可燃物在空气中燃烧所需的最低含氧量。

表 1-1 几种可燃物燃烧时所需的最低含氧量

可燃物名称	最低含氧量/%	可燃物名称	最低含氧量/%
乙 炔	3.7	橡 胶	12.0
多量棉花	5.9	丙 酮	13.0
黄 磷	8.0	汽 油	14.0
二硫化碳	10.0	乙 醇	15.0
乙 醚	12.0	蜡 烛	16.0

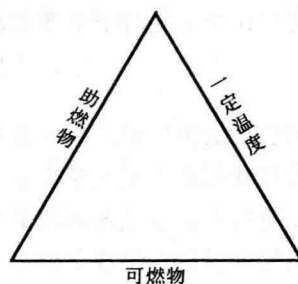
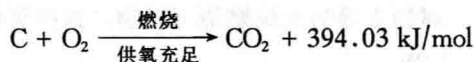


图 1-1 燃烧三要素
(燃烧三角形) 示意图

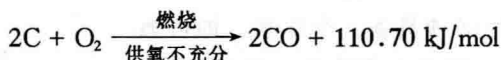
通常 1 kg 木材燃烧需要 3.2~4.0 m³ 的空气，需要纯氧 0.6~0.8 m³。当空气中氧的含量减少到 14%~18% 时，森林燃烧现象就会停止。然而，森林是开放的自然生态系统，空气中的氧基本能保证充分供应。只有当火场很大或某些局部环境下才可能出现氧气供应不充分的现象。在燃烧过程中，由于氧气供给程度不同，会产生两种不同的燃

烧。

完全燃烧：在森林燃烧过程中，氧气供应充足，燃烧彻底，燃烧后的产物不能再次燃烧，这种燃烧称为完全燃烧。碳的完全燃烧反应式如下：



不完全燃烧：在森林燃烧过程中，由于氧气供应不充足，燃烧不彻底，燃烧后的产物能再次燃烧，这种燃烧现象称为不完全燃烧。碳的不完全燃烧反应式如下：



完全燃烧生成的二氧化碳和水蒸气为无色气体。通常森林燃烧都产生大量的烟雾，这是处在缺氧的不完全燃烧状态下，形成的可燃物挥发物（焦油）凝聚成细小的液滴，悬浮在空气中。在这些液滴的周围又凝聚着部分水气，形成白雾。另外，森林可燃物在燃烧热解的过程中形成了微小的碳粒子，随上升气流而上升，就形成了烟雾。

1.1.2.3 温度

燃烧现象的发生除了可燃物、助燃物外，还需要一定的温度。对于森林燃烧来讲，一定的温度即为火源。凡是引起可燃物燃烧的热源均称为火源，如明火焰、赤热体、火花、机械撞击、聚光作用、化学反应等都可成为火源。

(1) 着火与燃点。可燃物受到外界火源的直接作用而开始的持续燃烧现象称为着火。着火是日常生产、生活中最常见的燃烧现象。例如，用火柴点燃柴草等就会着火。可燃物开始着火的最低温度称为该可燃物的燃点。可燃物的燃点越低，越容易着火。森林可燃物的燃点差异很大，一般干枯杂草的燃点为 150~200℃，木材的燃点为 250~350℃。要达到这样高的温度，通常要有外界火源。一旦可燃物达到燃点就不再需要外界火源，依靠自身的热量就可以继续燃烧。

(2) 自燃与自燃点。可燃物在没有外部火源的作用下，由于受热或自身发热并蓄热所产生的燃烧现象叫自燃。由于受热而产生的燃烧现象叫受热自燃。例如，可燃物在加热、烘烤或受热辐射、压缩热、化学反应等的作用下而引发的燃烧均属于受热自燃。由于可燃物自身的生物、物理、化学等作用所产生的热积蓄起来而引起的燃烧现象称为蓄热自燃。例如，湿稻草的自燃、褐煤的自燃、泥炭的自燃等均属于蓄热自燃。

在规定的条件下，可燃物产生自燃的最低温度称为该可燃物的自燃点。可燃物的自燃点越低，发生火灾的危险性越大。通常，可燃物的自燃点比其燃点高 100~200℃。

1.1.3 森林燃烧的三个阶段

森林燃烧过程从燃烧学角度一般可划分为以下三个阶段：

1.1.3.1 预热阶段

可燃物在外界热源（火源）的作用下开始升温，并不断逸出水分（脱水），这一过程为物理过程。随着温度继续升高，可燃物开始热分解，使大分子变成小分子，并伴有部分可燃性气体（如 CO、CH₄ 等）的挥发，这一过程为化学反应。由于这两个过程都需要吸收热量，因此，预热阶段也可称为吸热阶段。